Journal of Agricultural Machinery

Homepage: https://jame.um.ac.ir

Research Article

Vol. 14, No. 4, 2024, p. 459-474

Design, Construction, and Evaluation of an Automatic Feeder Control System for Sugarcane Billet Planters

B. Abbasian[1], M. E. Khorasani Ferdavani[2*], H. Zaki Dizaji[3]

1- M.Sc. in Mechanic of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Department of Biosystems Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
2- Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
3- Associate Professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
(*- Corresponding Author Email: e.khorasani@scu.ac.ir)

Received: 29 May 2024 Revised: 23 June 2024 Accepted: 07 July 2024 Available Online: 04 November 2024	**How to cite this article:** Abbasian, B., Khorasani Ferdavani, M. E., & Zaki Dizaji, H. (2024). Design, Construction, and Evaluation of an Automatic Feeder Control System for Sugarcane Billet Planters. *Journal of Agricultural Machinery*, *14*(4), 459-474. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jam.2024.88301.1254

Introduction

This study investigated the development and evaluation of an automatic feeder control system for sugarcane planters. The primary objective was to address limitations in existing machines and enhance their performance by introducing precise control of cane feeding.

Materials and Methods

The automatic feeder control system was equipped with three types of sensors, including a Load Cell Sensor that directly measures the weight of sugarcane on the feeder table. This feature provides a real-time assessment of cane availability. The Hydraulic Oil Pressure Sensor monitored the pressure within the hydraulic system that drives the feeder mechanism. Variations in pressure served as an indirect measure of the force applied to the cane during the feeding process. The Ultrasonic Distance Sensor employed ultrasonic waves to estimate the distance between the sensor and the sugarcane pile. Nevertheless, some limitations concerning accuracy and response time were identified. A microcontroller served as the central processing unit, receiving sensor data and generating control signals to regulate the feeder mechanism. This allowed for automation and eliminated the need for a manual operator. The performance of the automatic feeder control system was evaluated against a manual control method operated by a human.

Results and Discussion

The evaluation focused on three key aspects: cane spillage, planting quality, and control stability. Cane Spillage: the amount of sugarcane inadvertently dropped during the planting process. Automatic control methods using a load cell and hydraulic oil pressure sensor reduced spillage similarly to manual control, averaging approximately 8.8 t ha^{-1}. The ultrasonic sensor resulted in significantly lower spillage, achieving 7.4 t ha^{-1}. However, its limited accuracy and responsiveness led to undesirable gaps between the planted canes. Planting Quality: The implementation of automatic control techniques utilizing load cells and hydraulic oil pressure sensors successfully ensured uniform spacing between planted canes, achieving results comparable to traditional manual methods. Due to its shortcomings, the ultrasonic sensor created gaps between the planted canes, undermining the overall quality of the planting process. Control Stability: The method utilizing hydraulic oil pressure sensors exhibited limitations in maintaining consistent control under varying operational conditions.

https://doi.org/10.22067/jam.2024.88301.1254

This stemmed from temperature-dependent changes in oil viscosity, which affected the pressure readings and ultimately the control signal. Based on the evaluation results, the load cell control method emerged as the most favorable option for automatic feeder control. It delivered performance that matches manual control in terms of cane spillage reduction and planting quality, all while eliminating the need for an operator. The hydraulic oil pressure sensor method, although effective in some aspects, presented challenges due to oil viscosity variations. The ultrasonic sensor showed promise for reducing spillage; however, it ultimately fell short due to its inability to accurately and swiftly detect the availability of cane, resulting in gaps between planted canes. A separate assessment was carried out to compare manual cultivation with an automatic control method based on weight measurements using a load cell. This evaluation revealed significant differences ($p < 0.01$) in billet weight, the number of billets utilized, and one-sided gaps between the two methods. However, no significant difference was observed in terms of two-sided gaps.

Conclusion

This study successfully designed and implemented an automatic feeder control system for sugarcane planters. The load cell control method emerged as the most effective solution, successfully eliminating the need for operators while ensuring high standards of planting quality and efficiency. Additional research could explore advancements in sensor technology and control algorithms to further enhance the performance of automatic feeder control systems.

Acknowledgment

The authors would like to express their gratitude to the Managing Director of Farabi Agro-Industrial Company and its staff, as well as the technical staff of Poya Sazan Sabz Avane Company, who cooperated in the preparation and evaluation stages of the system. Vice Chancellor for Research and Technology of Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran: financial support under the special research grant number SCU.AA98.505.

Keywords: Hydraulic oil pressure sensor, Load cell, Metering feeder automation, Sugarcane planter, Ultrasonic distance sensor

نشریه ماشین‌های کشاورزی
https://jame.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ١٤، شماره ٤، زمستان ١٤٠٣، ص ٤٧٤-٤٥٩

طراحی، ساخت و ارزیابی سامانه کنترل خودکار تغذیه موزع دستگاه قلمه‌کار نیشکر

بنیامین عباسیان[1]، محمد اسماعیل خراسانی فردوانی[2*]، حسن ذکی دیزجی[3]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۰۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۱۷

چکیده

در این پژوهش، یک سامانه کنترل خودکار تغذیه موزع کارنده نیشکر با هدف بهبود عملکرد دستگاه کارنده خودکار قلمه نیشکر، طراحی و ساخته شد. از سه نوع حسگر (نیروسنج، فشار روغن و فاصله سنج فراصوت) به همراه میکروکنترلر برای پردازش اطلاعات و تولید سیگنال فرمان تغذیه قلمه به سامانه محرک هیدروموتور زنجیر تغذیه استفاده شد. طبق نتایج، روش کنترل وزنی و کنترل با حسگر فشار روغن نتایجی مشابه تیمار کنترل دستی داشتند. حسگر فراصوت به دلیل عدم تشخیص صحیح و به‌موقع وضعیت قلمه در دسترس موزع در سطح احتمال ۱ درصد با دیگر روش‌های کنترل تفاوت معناداری داشت و باعث کاهش ریزش قلمه از ۸/۸ برای سه روش اول به ۷/۴ تن در هکتار و ایجاد فاصله بین قلمه‌های کشت‌شده گردید که نامطلوب بود. در همه روش‌های کنترل به‌جز حسگر فراصوت، فاصله نکاشت مشاهده نشد. در روش کنترل با فشار، با وجود نتایج مشابه با کنترل دستی و کنترل وزنی، به دلیل تغییرات ویسکوزیته روغن با دما، نتایج کنترلی در طولانی مدت از پایداری مناسب برخوردار نبود. طبق نتایج، کنترل وزنی به‌عنوان گزینه برتر برای کنترل و حذف نیروی انسانی با حفظ کیفیت و راندمان کاشت با دستگاه کارنده خودکار توصیه می‌گردد. طی ارزیابی دیگر بین مقادیر مصرف وزنی قلمه مصرفی، تعداد قلمه مصرفی و فاصله نکاشت طولی در دو روش کشت دستی و کنترل خودکار وزنی، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد مشاهده شد. ولی بین مقادیر فاصله نکاشت جانبی در دو روش تفاوت معنی‌داری دیده نشد.

واژه‌های کلیدی: اتوماسیون تغذیه موزع، حسگر فشار روغن هیدرولیک، فاصله‌سنج فراصوت، ماشین کارنده نیشکر، نیروسنج

مقدمه

هرساله در کشت و صنعت‌های نیشکر، چند هزار هکتار مزرعه نیشکر به روش‌های متعدد کشت می‌شود. نیشکر گیاهی چندساله است که در طی این دوره هر سال برداشت می‌شود. به عبارت دیگر هرساله تمامی عملیات زراعی شامل تهیه زمین و کاشت در بخشی از مزارع کشت و صنعت‌ها انجام می‌پذیرد. کاشت نیشکر به سه روش دستی، نیمه‌مکانیزه و مکانیزه انجام می‌شود. در روش دستی، کاشت توسط نیروی انسانی و با دو روش کاشت قلمه و کاشت کل ساقه انجام می‌شود. در روش نیمه‌مکانیزه از ماشین‌های تمام ساقه‌کار و برنده کارنده برای بخشی از مراحل کاشت استفاده می‌شود. در روش مکانیزه، کاشت به‌طور کامل توسط ماشین‌های قلمه‌کار ریزشی و تمام ساقه‌کار انجام می‌شود. ماشین‌های کاشت نیز بر اساس طول قلمه به سه دسته تک بندکار، قلمه‌کار و تمام ساقه‌کار تقسیم می‌شوند. اولین قلمه‌کار استفاده‌شده در مزارع نیشکر خوزستان یک مدل ریزشی است که نمونه اصلی آن توسط شرکت آستافت ساخته‌شده و در ماشین‌سازی تبریز مونتاژ گردیده است (Mohammadi, Almasi, & Sheikh Davoodi, 2002; Almasi, Bakhoda & Sahebi, 2006). خراسانی و همکاران (Khorasani Ferdavani, Alimaradni & Omid, 2009) یک سامانه سنجش عملکرد نیشکر مبتنی بر اندازه‌گیری برخط وزن قلمه‌های عبوری از روی بالابر برای نصب روی ماشین برداشت نیشکر آستافت[1] ۷۰۰۰ توسعه دادند. در این سامانه از یک صفحه توزین که در بخش دوم و کف بالابر نصب شده بود استفاده شد. مستوفی و مینایی (Mostofi Sarkari &

۱- دانش‌آموخته ارشد مهندسی مکانیک بیوسیستم، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
۲- استادیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
۳- دانشیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: e.khorasani@scu.ac.ir)

https://doi.org/10.22067/jam.2024.88301.1254

1- Case IH 7000 - Austoft Sugar Cane Harvester

(Minaei, 2010) عملکرد دستگاه اندازه‌گیر جریان پیوسته جرمی برای ماشین‌های برداشت محصولات غده‌ای جهت کاربرد در کشاورزی دقیق را مورد ارزیابی قرار دادند. دو سامانه اندازه‌گیر جرمی مورد ارزیابی عبارت بودند از مبدل‌های یکسر درگیر متصل به مکانیزم تسمه نقاله و نیروسنج نگهدارنده وزن کل نقاله تغذیه و محصول. رضوی و همکاران (Razavi, Kardani & Namjoo, 2013) سامانه کنترل هوشمند بالابرنده مخزن اولیه نی در یک قلمه‌کار نیشکر را طراحی، اجرا و ارزیابی نمودند. قلمه‌کار مورد بررسی نمونه مشابه‌سازی‌شده از دستگاه قلمه کار شرکت آستافت استرالیا بود. آن‌ها در واقع یک سامانه کنترل هوشمند هیدروالکتریکی، به‌منظور جایگزینی اپراتور ارائه کردند که بر اساس میزان وزن قلمه‌ریخته‌شده به درون مخزن ثانویه عمل کرده و منجر به صدور فرمان برای بلند شدن و توقف پله‌ای مخزن اولیه می‌گردید به‌طوری‌که همواره وزن معینی از قلمه درون مخزن ثانویه موجود باشد. تقی نژاد و همکاران (Taghinezhad, Alimardani & Jafary, 2013) مکانیزمی برای دستگاه موزع قلمه‌کار نیشکر طراحی و با نرم‌افزار کتیا[1] مدل‌سازی نمود. ایشان از تحلیل سلسله‌مراتبی برای انتخاب بهترین ترکیب پارامترهای موثر استفاده نمودند. در مقیاس آزمایشگاهی نمونه اولیه از موزع دقیق کار قلمه تک ردیفه ابداعی پاپولین[2] ساخته شده است (Khani, Razavi, & Hemat, 2006; Bozorgi, 2014). همچنین مطالعات متعددی برای اصلاح موزع (Taghinezhad, Alimardani & Jafary, 2014; Saengprachatanarug, Wongpichet, Namjoo (انجام شد. نامجو و همکاران Ueno, & Taira, 2016) (Razavi, & Khani, 2015) یک موزع چرخ زنجیری با پیاله‌های افقی را به‌صورت آزمایشگاهی توسعه و مورد ارزیابی قرار دادند. در این طرح یک چرخ زنجیر بی‌انتها، قلمه‌های نی را به‌صورت افقی از مخزن برداشته و در طول مسیر با عبور در زاویه منفی باعث حذف قلمه‌های اضافه می‌گردید. طبق نتایج گزارش‌شده بهترین عملکرد این موزع در سرعت پیشروی ۳/۵ کیلومتر بر ساعت و زاویه ۲۵ درجه موزع به‌دست آمد. یک مدل آزمایشگاهی موزع با ترتیب ریزش نردبانی (عرضی) قلمه نیز توسط اکبرنیا (Akbarnia, 2017) پیشنهاد شد. انتخاب روش و ماشین کاشت به عواملی مانند نوع و اندازه قلمه، شرایط زمین و در دسترس بودن منابع بستگی دارد (Mansouri, Zaki Dizaji, Sheikh Davoodi, & Asakare, 2019). مکانیزه کردن مرحله کاشت قلمه نیشکر موضوع اصلی این تحقیق است. یکی از معضلات کشت و صنعت‌های نیشکر در استان خوزستان نبود ماشین کاشت مناسب بوده است. با توجه به بررسی‌های عباسیان و همکاران (Abbasiyan, Khorasani Ferdavani, & Zaki Dizaji, 2019) مصرف بالای قلمه، الگوی ریزش غیریکنواخت، فضای نکاشت زیاد و کیفیت ساخت پایین که مدام موجب توقف دستگاه می‌گردید، از طرف مدیریت کشت و صنعت‌ها به‌عنوان دلایل عدم استقبال و کنار گذاشته شدن این دستگاه ذکر شده است. دو نوع موزع دقیق کار طراحی، ساخته و در سطح آزمایشگاهی آزمایش شدند (Soleimani Varposhti, Zaki Dizaji, & Sheikh Davoodi, 2019) اما هیچ‌کدام به مرحله تولید صنعتی نرسیده است. هان و همکاران (Han, Wen, Liu, & Wu, 2019) یک قلمه‌کار نیشکر طراحی و ارزیابی نمود. مطالعات متعددی برای معرفی روش کاشت نیشکر مناسب برای شرایط خوزستان انجام گرفته است (Mansouri *et al.*, 2019). وانگ و همکاران (Wang, Liu, Ou, & Zou, 2021; Wang, Liu, Yinggang, & Zou, 2022) یک دستگاه تک‌بند کار قلمه نیشکر را توسعه داد و پارامترهای بهینه عملکرد دستگاه را ارزیابی نمود. همچنین به‌صورت آزمایشگاهی تأثیر سرعت دورانی، زاویه زنجیر نوار دندانه‌دار و تعداد پیاله‌ها بر یکنواختی کاشت ارزیابی شد. برونسون و همکاران (Bronson, French, Conley, & Barnes, 2020) از فناوری حسگر فراصوت جهت تشخیص ارتفاع بوته‌های کتان استفاده کردند. وانگ و زو (Wang, Liu, Ou, & Zou, 2022) همچنین طی تحقیقی دیگر سامانه طراحی‌شده را شبیه‌سازی نمود. الواکیل و همکاران (Elwakeel *et al.*, 2023) یک مکانیزم کنترل نرخ متغیر و یک سامانه پایشگر هوشمند مبتنی بر فناوری اینترنت اشیاء برای نشاکارِ دقیقِ نیشکر طراحی و پارامترهای موثر در عملکرد سامانه را مورد ارزیابی قرار دادند.

طی بررسی‌های انجام‌شده هنگام ارزیابی ماشین قلمه‌کار خودکار نیشکر A-4000، با توجه به کنترل مقدار ریزش قلمه از مخزن اولیه به ثانویه توسط اپراتور، در مواردی خطای انسانی (ناشی از عدم تمرکز اپراتور، خستگی، عدم تعهد کافی و غیره) باعث عملکرد نامناسب و نکاشت می‌شد. این نتایج ضرورت ساخت سامانه کنترل خودکار موزع این دستگاه را ایجاد نمود. با توجه به آن‌چه گفته شد، خودکار کردن تغذیه قلمه به مخزن ثانویه جهت حفظ ارتفاع قلمه‌های نی در این مخزن در دستور کار قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

ماشین کاشت قلمه نیشکر

جدیدترین ماشین کارنده نیشکر ساخته‌شده در ایران، کارنده خودکار نیشکر مدل A-4000 ساخت شرکت پویاسازان صنعت سبز آوان است که عملیات کاشت را کاملاً مکانیزه انجام می‌دهد. این ماشین مطابق شکل ۱ شامل مخزن نی، موزع و مخزن ثانویه، لوله سقوط، کود ریز، شیاربازکن، دیسک‌های پوشاننده، صفحات شکل‌دهنده پشته و چرخ تثبیت خاک است.

ترتیب عملکرد دستگاه به این صورت است که قلمه‌ها از مخزن

1- CATIA
2- Pupolin, 1976

نی (مخزن اولیه) با ظرفیتی حدود ۳ تا ۱۰ تن، بـه مخـزن ثانویـه در مجاورت موزع انتقال داده می‌شود. کـف مخـزن اولیـه دارای سـامانه نقاله زنجیری در کف است تا قلمه‌ها را به مخزن ثانویه تحویل دهـد. انتقال قلمه‌ها از مخزن اولیه به مخزن ثانویه به‌صورت دسـتی توسـط اپراتور نشسته در بالای دستگاه و با توان هیدرولیک انجام می‌گیرد. با شروع فصل کشـت، کـه مقـارن بـا اوج گرمـای تابسـتان در اسـتان خوزستان می‌باشد، اپراتور در معرض نور مستقیم آفتاب و گرد و غبـار قرار گرفته و از طرفی باید همواره سر پا بوده و نظارت دقیق بر میزان پر و تخلیه شدن مخزن ثانویه داشته باشد، که این عامـل عـلاوه بـر عوارض جسمی از جمله کمر درد و خطرات جانی بـه هنگـام حرکـت دستگاه و عدم ایمنی، کیفیت کشت را نیـز بـه هنگـام تغذیـه مخـزن ثانویه تحت تاثیر قرار می‌دهد، به‌طوری‌که گـاهی ممکـن اسـت کـه مخزن ثانویه مـدتی کوتـاه تغذیـه‌نشـده و خـالی از قلمـه شـود و یـا به‌صورت انبوه، از قلمه انباشته گردد.

از آن‌جایی‌که موزع به‌طور مداوم از مخزن ثانویه تغذیه مـی‌شـود، مخزن ثانویه همواره باید در یک سطح مشخص پر از قلمه حفظ شود تا عملکرد موزع در بهترین حالت صورت پـذیرد، در غیـر ایـن‌صـورت فضای نکاشت در مزرعه به‌وجود می‌آید. در صورت عملکرد درسـت و دقیق نیروی انسانی دستگاه به‌خوبی عمل مـی‌کنـد ولـی در طـولانی مدت حفظ کیفیت نظارت انسانی خصوصا در اثر خسـتگی غیـرممکن بوده و احتمال خطا و نقص در عملکرد تغذیه قلمه بـه قسـمت مـوزع ناگزیر است. در ادامه موزع به‌صورت کاملاً خودکار مقدار قلمـه مـورد نظر را از مخزن ثانویه برداشته و به لوله سقوط انتقـال مـی‌دهـد. بـه موازات این عمل قسمت‌های دیگر دسـتگاه فعـال بـوده و عمـل بـاز کردن شیار و کود ریزی انجام می‌شود. در ادامه قلمه‌هایی که در لولـه سـقوط ریختـه‌شـده، درون شـیار و روی کـود ریختـه مـی‌شـود و دیسک‌های پوشاننده روی قلمه‌ها را می‌پوشانند. سپس چرخ تثبیت بر روی خاک کشت‌شـده حرکـت کـرده و دو صـفحه پشـته را بـه فـرم مطلوب شکل‌دهی می‌کنند.



شکل ۱– کارنده خودکار نیشکر مدل A-4000 و اجزای آن

Fig.1. A-4000 sugarcane billet planter and its components

طراحی سامانه کنترل خودکار

اجزای سامانه کنترل خودکار تغذیه طراحی‌شده عبارتند از حسگری که میزان نی در دسترس موزع را تشخیص دهد. واحد کنترل برای پردازش اطلاعات خروجی از حسگر و دادن فرمان به عملگرها، عملگرهای هیدرولیکی جهت حصول بهترین کنترل خودکار تغذیه موزع و مدار کنترل الکترونیکی. در این پژوهش، سه روش برای اندازه‌گیری حجم قلمه در مخزن ثانویه با استفاده از حسگرهای مختلف (فاصله‌سنج فراصوت، نیروسنج و مبدل فشار روغن) بررسی و پیاده‌سازی شد. برای هر روش، مدارهای الکترونیکی طراحی و ساخته شد و موقعیت قرارگیری حسگرها برای انجام آزمایش‌ها تعیین گردید. در ادامه به شرح و بررسی عملکرد هر سامانه پرداخته شده است.

حسگر وزن

برای اندازه‌گیری وزن قلمه در مخزن ثانویه، از یک حسگر نیروسنج S شکل مدل زمیک[1] با ظرفیت ۱۰۰ کیلوگرم و حساسیت ۲ میلی‌ولت/ ولت ساخت کشور ویتنام استفاده شد. این حسگر در مکانیزمی مطابق شکل ۲ جایگزین درپوش کف مخزن ثانویه گردید. وزن قلمه‌ها به صفحه متحرک و سپس به نیروسنج وارد می‌شد. این نیرو به‌طور مستقیم در مخزن ثانویه اندازه‌گیری و پس از واسنجی در میکروکنترلر به‌عنوان معیاری از وزن توده قلمه در الگوریتم کنترل استفاده شد.

با کاهش حجم قلمه موجود در مخزن ثانویه به کمتر از ۳۰ درصد (۱۸ کیلوگرم=PV_1)، پرشدگی موزع کاهش پیدا می‌کرد. مطابق نمودار روند نمای سامانه (شکل ۵) این مقدار به‌عنوان حد پایین فعال شدن سامانه هیدرولیک در نظر گرفته شد. حد بالا نیز روی ۹۰ درصد (معادل ۵۰ کیلوگرم=PV_2) تنظیم شد.

حسگر فاصله سنج فراصوت

در این سامانه از حسگر فراصوت برای اندازه‌گیری ارتفاع سطح نی در مخزن ثانویه استفاده شد. اطلاعات ارتفاع به میکروکنترلر ارسال و با توجه به ارتفاع از پیش تعریف شده‌ی قلمه‌ها در مخزن، فرمان توقف یا حرکت به هیدروموتور نقاله کف مخزن اولیه صادر می‌شد. مطابق شکل ۲ حسگر در بالای مخزن به نحوی نصب شد که توده نی در مخزن ثانویه در میدان دید آن قرار گیرد. فاصله حسگر تا کف مخزن ثانویه بدون قلمه سه متر بود و ارتفاع سطح توده قلمه‌ها با کم کردن این فاصله از فاصله حسگر تا سطح توده قلمه‌ها محاسبه شد. در این روش کنترل، حد پایین و حد بالا مطابق نمودار روند نمای سامانه کنترل (شکل ۵) به‌ترتیب ۴۰ =PV_1 و ۸۰ =PV_2 سانتی‌متر از کف مخزن تعیین شد. مطابق شکل ۶ اجزای سامانه، مدار و قطعات الکترونیکی به‌کاررفته در سامانه مبتنی بر حسگر فراصوت مشابه سامانه مبتنی بر حسگر وزن بود و تنها در نوع حسگر و مبدل آنالوگ به دیجیتال و برنامه‌نویسی میکروکنترلر با یکدیگر تفاوت داشت. به این منظور از یک حسگر فراصوت مدل SRF05 ساخت کشور چین با برد مفید ۴ متر، دقت یک سانتی‌متر و خروجی دیجیتال استفاده شد.

حسگر فشارسنج هیدرولیک

این حسگر بر اساس تغییرات فشار روغن ورودی به هیدروموتور، سطح قلمه‌ها در مخزن ثانویه را اندازه‌گیری می‌نمود. توان مصرفی هیدروموتور در شرایط پر و خالی بودن مخزن ثانویه متفاوت است. مدار هیدرولیک سامانه و موقعیت قرارگیری حسگر در شکل ۳ نمایش داده شده است. به این منظور از یک حسگر فشار پیزورزیستیو[2] صفر تا ۱۶۰ بار از مدل هاگلر[3] ساخت کشور آلمان با خروجی دو سیم ۴ تا ۲۰ میلی‌آمپر و حداکثر خطای ۰/۵ درصد در رنج کامل استفاده شد.

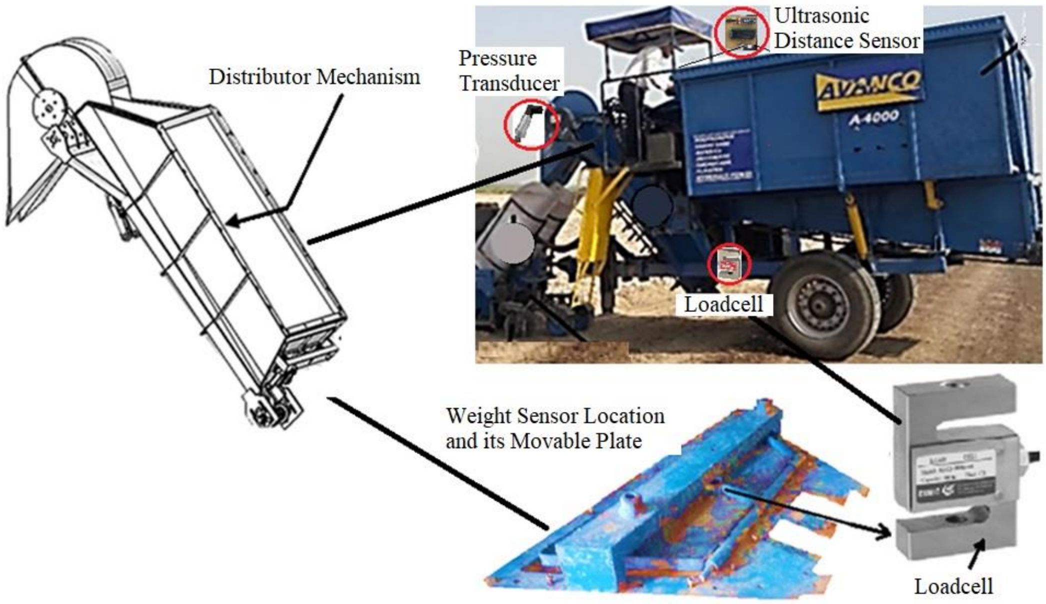
مبدل فشار هیدرولیک در حالت ۳۰ درصد پر بودن مخزن ثانویه، ۵۸ بار (PV_1) و در حالت ۹۰ درصد پر بودن، ۷۱ بار (PV_2) را نشان می‌داد. این اعداد به‌ترتیب به‌عنوان حد پایین و بالای تصمیم‌گیری در کنترلر استفاده شد. مطابق شکل ۶ اجزای سامانه و مدار و قطعات الکترونیکی به‌کاررفته در سامانه مبتنی بر مبدل فشار هیدرولیک مشابه سامانه‌ی مبتنی بر حسگر وزن بوده و تنها در نوع حسگر و مبدل آنالوگ به دیجیتال و حدود تصمیم‌گیری در برنامه نوشته‌شده در میکروکنترلر تفاوت داشت.

به‌منظور مدیریت و تصمیم‌سازی لحظه‌ای از نتایج، برای هرکدام از حسگرها یک مدار میکروکنترلر برای پردازش و ارسال داده‌ها به کنترلر اصلی طراحی و ساخته شد. کار هر سه مدار کنترلی ارسال سیگنال فرمان به هیدروموتور بخش مخزن اولیه متناسب با سیگنال حسگر مربوطه بود به نحوی که با حرکت دادن زنجیر کف مخزن اولیه، نی کافی به مخزن ثانویه ارسال شده و در دسترس موزع قرار گیرد. نمای بالا از موزع این کارنده در شکل ۴ نشان داده شده است.

1- ZEMIC-H3-100kg

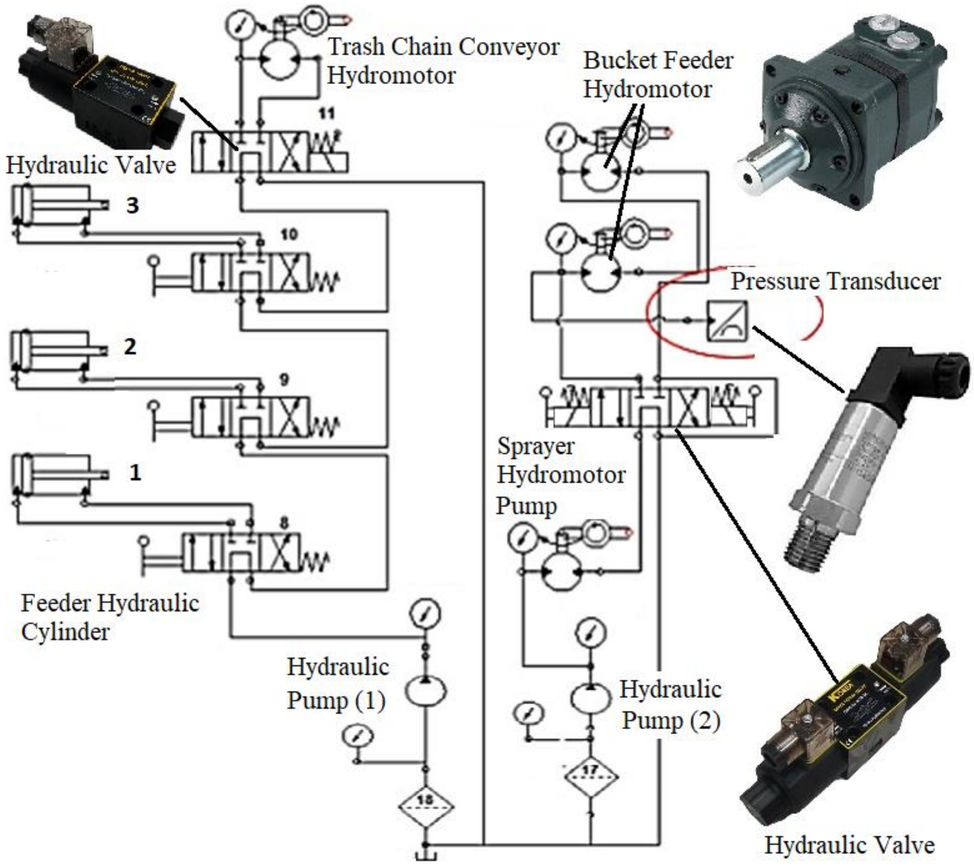
2- Piezoresistive Pressure Sensor

3- Hogller- HOTH0160FGCK



شکل ۲– مکانیزم موزع و محل قرارگیری حسگرهای نیروسنج و صفحه متحرک آن، فاصله سنج فراصوت و مبدل فشار

Fig.2. Distributor mechanism with weight sensor location and its movable plate, ultrasonic distance sensor, and pressure sensor



شکل ۳– مدار هیدرولیک کارنده و محل نصب مبدل فشار سامانه‌ی تغذیه قلمه

Fig.3. Planter hydraulic circuit and pressure sensor location of billet feeder



شکل ٤- موزع کارنده در حال کار از نمای بالا

Fig.4. Top-down perspective of the harvester distributor in operation

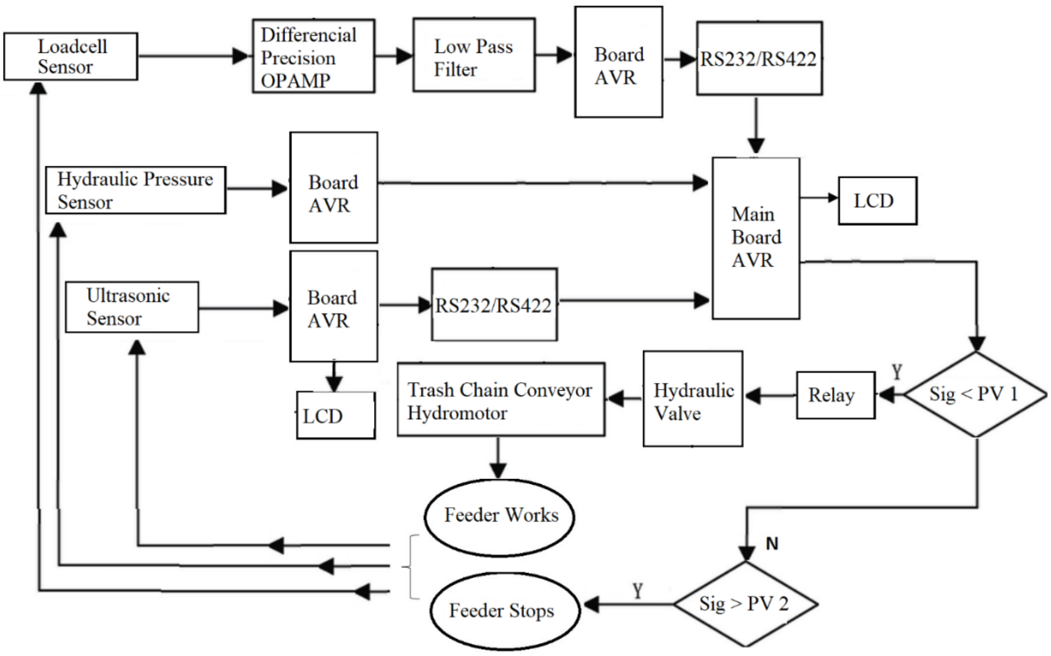
دیگر اجزای این سامانه عبارت بود از یک نمایشگر کاراکتری جهت نمایش وزن نی و مخزن، شیر برقی هیدرولیک سه‌حالته[1] برای فرمان دادن به هیدروموتور زنجیر کف مخزن اولیه، رله برای به راه‌اندازی شیر برقی، مبدل آنالوگ به دیجیتال برای تبدیل داده‌های حسگر وزن به سیگنال‌های دیجیتال و میکروکنترلر ای وی آر مگا ۱۶[2]. مطابق شکل ۳ سامانه هیدرولیکی شامل دو پمپ هیدرولیک، دو هیدروموتور سری برای به حرکت در آوردن زنجیر موزع پیاله‌ای، یک هیدروموتور برای راه‌اندازی کودریز یا سمپاش، یک هیدروموتور برای راه‌اندازی چرخ زنجیر کف مخزن اولیه و سه جک برای کمک به تخلیه قلمه‌های نی از مخزن اولیه روی زنجیر مرکزی می‌باشد. در شکل ۵ نمودار روند نمای نحوه پردازش سیگنال و چگونگی تصمیم‌گیری و ارسال دستور به عملگر هیدروموتور زنجیر نقاله کف مخزن و در شکل ۶ اجزای سخت‌افزاری، حسگرها و مدارات پردازش و انتقال سیگنال بخش‌های مختلف سامانه کنترل خودکار نشان داده شده است. برای انتقال داده‌های حسگرهای نیروسنج و فراصوت به برد اصلی به دلیل نویز محیط و فاصله محل نصب حسگرها تا برد کنترلر از مبدل سریال با پروتکل RS422 استفاده شد. به‌منظور حذف نویز ناشی از ارتعاشات ماشین روی سیگنال نیروسنج یک مدار فیلتر پایین‌گذر از نوع باترورس بعد از مدار تقویت‌کننده تفاضلی دقیق استفاده شد.

همچنین با میانگین‌گیری متحرک روی داده‌های دریافتی به‌صورت دیجتال، داده‌های نیرو، فاصله یا فشار دریافتی پایدار شده و برای تصمیم‌گیری در چرخه کنترل استفاده شد. در هر یک از روش‌های کنترل، یک حد پایین و یک حد بالا متناسب با حداقل و حداکثر حجم توده قلمه نی در مخزن ثانویه برای داده دریافتی از حسگرها در برنامه در نظر گرفته شد. این پارامتر مطابق شکل ۵ به‌ترتیب PV_1 و PV_2 هستند. با توجه به فاصله زمانی مورد نیاز برای نمونه‌گیری و میانگین‌گیری بعدی برای پایداری بیشتر، زمان پاسخ سامانه به تغییر پارامتر مورد اندازه‌گیری و بروز شدن فیدبک سامانه به یک ثانیه قابل کاهش بود.

نحوه‌ی ارزیابی

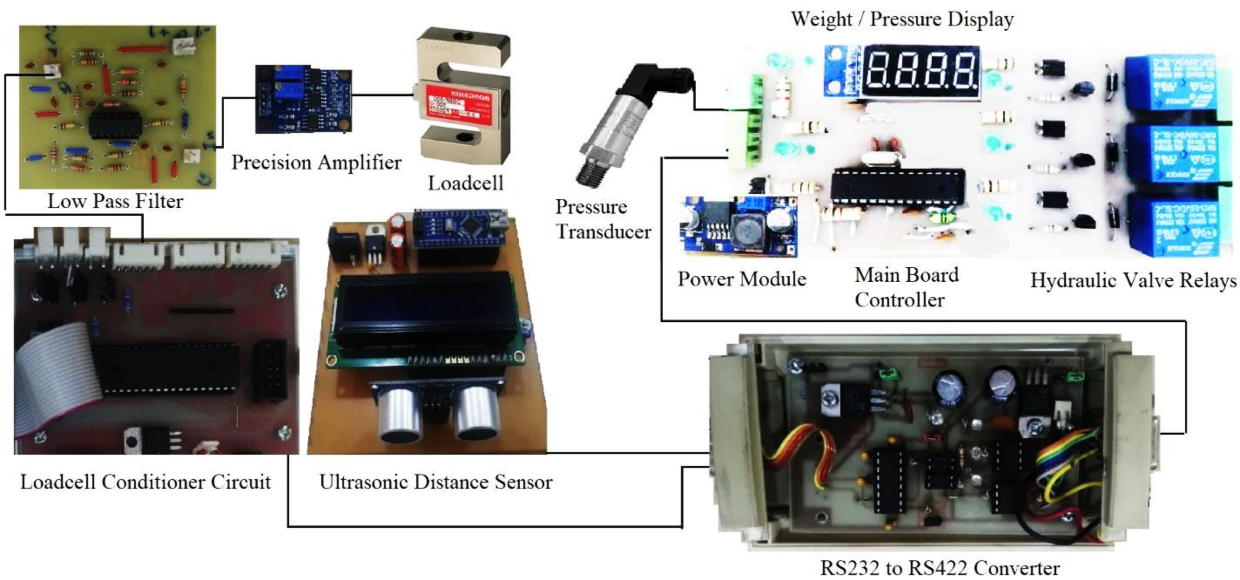
برای حصول بهترین عملکرد دستگاه کارنده، ابتدا هر یک از سه نوع حسگر فراصوت، حسگر فشارسنج هیدرولیک روغن، حسگر وزن به‌طور جداگانه روی کارنده نصب و دستگاه عملیات کشت را انجام داد. سپس زمین کاشته شده مورد بررسی قرار گرفت. پارامترهای مورد اندازه‌گیری در هر روش، مقدار فواصل نکاشت طولی[3] (روی ردیف) و جانبی[4] (بین ردیف‌ها) ، تعداد نی مصرفی به‌ازای هر ۱۰ متر طول کاشت و وزن نی مصرفی در هکتار بود که از مهم‌ترین عوامل در افزایش یا کاهش راندمان یک کارنده نیشکر می‌باشند. در پایان پس از مقایسه نتایج با حالت دستی، بهترین نوع حسگر انتخاب شد.

1- Korea Hydrohalic valve
2- AVR Microcontroller Mega16
3- One-Sided Gap
4- Two-Sided Gap



شکل ۵– نمودار روند نمای عملکرد سامانه کنترل خودکار تغذیه موزع قلمه کار نیشکر

Fig.5. Flow diagram of the automatic feeder control system for sugarcane billet planter

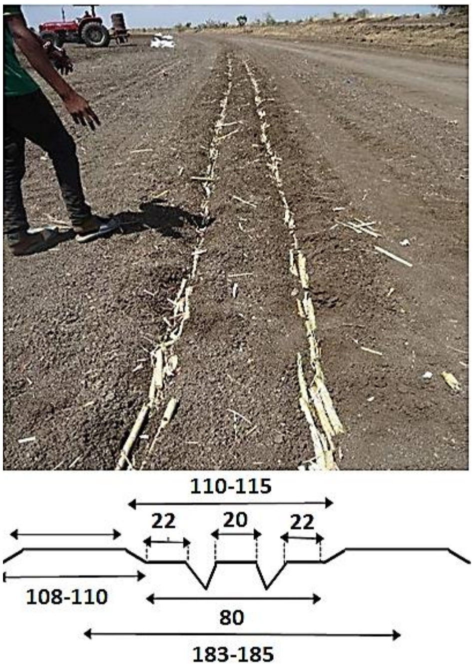


شکل ٦– اجزای سخت‌افزاری سامانه کنترل خودکار (مدارهای کنترل، حسگرهای وزن، فراصوت و فشار) و نحوه ارتباط آن‌ها

Fig.6. Automatic control system parts (control, weight, ultrasonic, and pressure circuit) and their connections

فاصله نکاشت طولی، جانبی و مصرف نی

فاصله نکاشت طولی، فاصله بین لبه یک قلمه تا لبه نزدیک‌ترین قلمه دیگر در همان ردیف است. به عبارت دیگر، این معیار نشان‌دهنده میزان هم‌پوشانی یا فاصله بین دو قلمه مجاور در یک ردیف است. فاصله نکاشت جانبی، فاصله بین لبه یک قلمه تا لبه نزدیک‌ترین قلمه در دو ردیف مجاور بوده و نشان‌دهنده میزان هم‌پوشانی یا فاصله بین دو ردیف کشت مجاور می‌باشد. برای اندازه‌گیری در هر آزمایش، در طول ۱۰ متر مجموع فاصله‌های نکاشت طولی و جانبی به‌عنوان شاخص ثبت شد (شکل ۷). سپس کلیه‌ی قلمه‌های ریخته‌شده در ۱۰ متر جمع‌آوری، شمارش و وزن شدند تا مصرف وزنی نی در هر هکتار محاسبه شود.



شکل ۷- ابعاد جوی و پشته (سانتی‌متر) و نحوه اندازه‌گیری مصرف وزنی ریزش قلمه و فواصل نکاشت

Fig.7. Dimensions of the furrow and ridge (cm) and the method for measuring tonnage and gap

ارزیابی‌های انجام شده را می‌توان به سه بخش تقسیم نمود. در بخش اول، پس از طراحی و ساخت هر یک از سامانه‌ها، جهت تنظیم پارامترهای کنترلی و کالیبراسیون به‌صورت آزمایشگاهی ارزیابی عملکردی انجام شد. دو بخش بعدی شامل دو آزمایش مزرعه‌ای برای مقایسه عملکرد سامانه در حین کار بود که در ادامه شرح داده می‌شود. در ارزیابی مزرعه‌ای اول جهت انجام آزمایش‌ها از طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. تیمارهای مورد بررسی شامل نوع حسگر در چهار سطح (حسگر فراصوت، حسگر فشارسنج هیدرولیک روغن، حسگر وزن و کنترل دستی سامانه تغذیه خودکار توسط اپراتور به‌عنوان تیمار شاهد) بود. این آزمایش‌ها در مزرعه تحقیقاتی شرکت پویاسازان صنعت سبز آوان در وسعت دو هکتار انجام شد. در هر سطح ۳۰ تکرار در نظر گرفته شد. در این آزمایش مصرف وزنی نی در هکتار با مقادیر مصرفی توسط تیمار شاهد مقایسه و برای انتخاب بهترین حسگر جهت کنترل خودکار تغذیه موزع استفاده شد. طبق نتایج گزارش‌شده توسط شرکت سازنده دستگاه، مناسب‌ترین سرعت پیشروی جهت انجام کشت مکانیزه نیشکر، ۶ کیلومتر بر ساعت ثابت در نظر گرفته شد. لذا کلیه آزمایش‌ها با این سرعت پیشروی انجام شد. همچنین واریته سی پی ۶۹[1] به‌عنوان واریته غالب در کشت و صنعت‌های نیشکر انتخاب شد. بعد از انجام آزمایش‌ها به دلیل برخی مشکلات اجرایی نتایج برخی از آزمایش‌های انجام‌شده روی تیمار حسگر فراصوت غیرقابل‌قبول تشخیص داده شد و به دلیل عدم امکان تکرار آن آزمایش‌ها برای برآورد داده‌های از دست‌رفته و انجام تحلیل آماری ناگزیر از طرح کاملا تصادفی نامتعادل در نرم‌افزار سس ۹،۱،۳[2] استفاده شد. همچنین از رویه جی ال ام[3] با محاسبه مجموع مربعات نوع سوم (مربوط به تفاوت بین کمترین میانگین مربعات[4])، برای تجزیه طرح استفاده شد. از آن‌جا که طبق نتایج این آزمایش، به‌غیر از تیمار حسگر فراصوت، به دلیل هم‌پوشانی بالای قلمه‌ها در باقی تیمارها، پارامترهای نکاشت طولی و جانبی هر دو صفر بود. آزمایش سوم طی کشت حدود ۵۰ هکتار در دو مزرعه کشت و صنعت فارابی انجام شد. در این آزمایش‌ها مقادیر مصرف وزنی و تعداد قلمه، فواصل نکاشت طولی و جانبی در کشت دستی با کشت ماشینی (کنترل دستی و کنترل خودکار وزنی) مقایسه شد. تحلیل نتایج این آزمایش با نرم‌افزار مینی‌تب[5] انجام شد. طراحی مکانیزم لولایی و صفحه متحرک نیروسنج مطابق شکل ۲ با نرم‌افزار کتیا و طراحی مدارهای الکترونیکی با نرم‌افزار پروتئوس[6] و آلتیوم[7] انجام شد. همچنین برنامه‌نویسی‌های انجام‌شده برای کنترلرها با زبان سی در محیط

1- CP69

2- SAS 9.1.3
3- The GLM (general linear models) Procedure
4- SS3
5- Minitab ® 21.3
6- Proteus v 8.13
7- Altium Designer® 17.0.11

نرم‌افزار کدویژن[1] انجام شد.

نتایج و بحث

پس از اطمینان از عملکرد مناسب آزمایشگاهی سامانه‌های کنترل موزع قلمه‌کار خودکار نیشکر، این سامانه‌ها به نوبت بر روی ماشین قلمه‌کار نصب و ارزیابی شد. به‌منظور طراحی بهینه و بالابردن راندمان کمی و کیفی دستگاه، پارامتر مصرف وزنی و تعداد ریزش قلمه به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تجزیه واریانس مربوط به اثر استفاده از کنترل دستی، کنترل با حسگر وزن، حسگر فراصوت و فشار روغن در سامانه کنترل خودکار بر مقدار مصرف وزنی و تعداد ریزش قلمه در جدول ۱ نشان داده شده است. مطابق نتایج، روش کنترل دستی با روش کنترل با حسگر وزن و حسگر فشار روغن اختلاف معناداری نداشت ولی هر سه روش ذکرشده با روش کنترل با حسگر فراصوت تفاوت معناداری در سطح احتمال ۱٪ نشان دادند. این تفاوت عمدتا به دلیل تخلخل زیاد توده قلمه داخل مخزن ثانویه، آلودگی محیطی اطراف مخزن و حسگر فراصوت و پل زدن توده قلمه‌ها قبل از ریزش به مخزن ثانویه رخ می‌داد.

مطابق نتایج مقایسه میانگین شکل ۸، بیشترین میزان ریزش قلمه مربوط به کنترل با حسگر وزن با مقدار ۸۹۰۰ کیلوگرم در هکتار و کمترین ریزش قلمه مصرفی با مقدار ۷۴۰۰ کیلوگرم در هکتار مربوط به کنترل با حسگر فراصوت مشاهده شد. در زمان انتخاب نوع حسگر برای پایش حجم نی در مخزن ثانویه دستگاه کارنده، این فرض اولیه مطرح بود که احتمالا به دلیل تخلخل زیاد و توده ناهمگن قلمه‌های نی در مخزن دقت حسگر فراصوت کمتر خواهد بود. با توجه به مرور منابع و گزارشاتی که استفاده از حسگر فاصله‌سنج فراصوت را برای پایش ارتفاع بوته‌های نیشکر و در مواردی برای پایش مزارع ذرت استفاده کرده بودند و همچنین هزینه و نیاز به کمترین تغییر ساختاری در کارنده نسبت به دو حسگر دیگر باعث شد که حسگر فراصوت انتخاب شود. حتی طی ارزیابی‌های اولیه با وجود خطای ناشی از تخلخل توده، براورد ارتفاع نی و در نتیجه حجم موجود نی در مخزن ثانویه امیدوارکننده بود. مشکل اصلی که باعث کاهش چشمگیر دقت با حسگر فراصوت گردید به دلیل درهم‌تنیدگی توده قلمه‌های نی بود که در برخی موارد کل توده قلمه با حرکت زنجیر کف مخزن و با وجود پیشروی به سمت مخزن ثانویه ریزش نمی‌کرد و باعث می‌شد که یک دیواره عمودی از نی‌ها قبل از ریزش تا جلوی میدان دید حسگر فراصوت پیش رفته و بدون این‌که عملا قلمه‌ها در مخزن ثانویه ریزش کند کنترلر با حسگر فراصوت به غلط فرمان توقف حرکت می‌داد و باعث خالی ماندن مخزن ثانویه و در نتیجه خالی ماندن پیاله‌های موزع می‌شد که در نهایت باعث نکاشت می‌گردید. این مشکل در دو نوع حسگر وزنی و فشار وجود نداشت.

نتایج مقایسه میانگین مقدار ریزش قلمه مطابق نمودار شکل ۸ نشان داد که اختلاف بین روش‌های کنترل با حسگر وزنی، حسگر فشار روغن هیدرولیک و تیمار کنترل دستی معنی‌دار نبود. حسگر فراصوت به دلیل عدم تشخیص صحیح و به‌موقع وضعیت قلمه در دسترس موزع در سطح احتمال ۱ درصد با دیگر روش‌های کنترل تفاوت معناداری داشت و منجر به کاهش ریزش قلمه از میانگین حدود ۸/۷ تن در هکتار برای سه روش دیگر به ۷/۴ تن در هکتار و ایجاد فاصله بین قلمه‌های کشت‌شده گردید که نامطلوب بود. در آزمایش اول و در همه روش‌های کنترل به‌جز حسگر فراصوت، نتایج بررسی‌ها نشان‌دهنده عدم وجود گپ[2] و فاصله خالی بین قلمه‌ها در شیارهای کشت‌شده با این کارنده بود و هیچ‌گونه گپ قابل اندازه‌گیری در خطوط کشت مشاهده نشد. در روش کنترل با حسگر فشار روغن با وجود نتایج مشابه با کنترل دستی و کنترل با حسگر وزنی، به دلیل تغییرات ویسکوزیته روغن با دما در طول کار دستگاه و در شرایط کاری متفاوت، نتایج کنترلی از پایداری مناسب برخوردار نبود. طبق نتایج کنترل وزنی به‌عنوان بهترین گزینه برای کنترل و حذف اپراتور با حفظ کیفیت و راندمان عملکرد دستگاه کارنده خودکار توصیه می‌شود.

در شرایط استاندارد و با در نظر گرفتن هم‌پوشانی مناسب قلمه‌ها (یک سوم هم‌پوشانی) و طول استاندارد قلمه (۵۰ سانتی‌متر) مقدار طول قلمه لازم و مناسب در ۱۰ متر در هر ردیف برابر با ۱۳/۵ متر و تعداد آن‌ها ۲۸ – ۳۰ عدد خواهد بود. با توجه به استفاده دستگاه از قلمه‌های حدود ۲۵ سانتی‌متری تهیه‌شده توسط هاروستر نیشکر[3]، تعداد قلمه مورد نیاز در ۱۰ متر با هم‌پوشانی مناسب برای هر ردیف حدود ۶۳ عدد می‌باشد که با توجه به مصرف زیاد قلمه توسط دستگاه این میزان در حال حاضر برای هر ردیف حدود ۱۰۰ عدد قلمه به‌دست آمد. به‌منظور ارزیابی مقدار ریزش قلمه، قلمه‌های کاشته‌شده از زیر خاک خارج شدند و طول و تعداد آن‌ها در هر ردیف کشت اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری‌ها به گونه‌ای بود که موقع جابه‌جایی خاک از روی قلمه‌ها، موقعیت آن‌ها تغییر نکند و بتوان فاصله بین قلمه‌ها و نحوه هم‌پوشانی و فاصله‌های احتمالی (گپ) بین قلمه‌ها را اندازه‌گیری نمود. درخصوص میزان فاصله نکاشت یک و جانبی، نتایج نشان داد که در جوی‌های کشت‌شده با این کارنده فاصله خالی بین قلمه‌ها وجود نداشته و هیچ‌گونه فاصله قابل اندازه‌گیری در خطوط کشت مشاهده نشد.

1- CodeVisionAVR V3.34

2- Gap

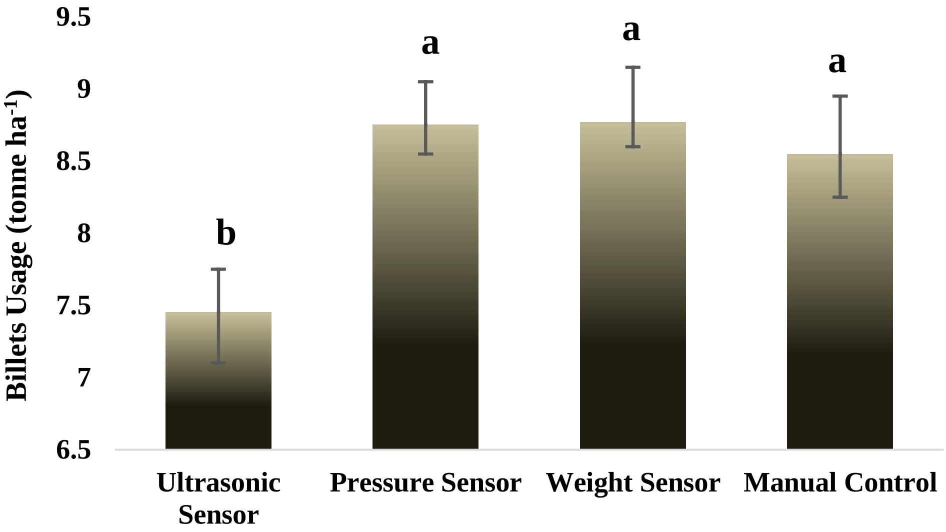
3- Sugarcane Harvester

جدول ۱– تجزیه واریانس نامتعادل تأثیر روش‌های تشخیص توده قلمه بر کارایی سامانه تغذیه قلمه‌کار نیشکر

Table 1- Analysis of Variance (Unbalanced ANOVA) for the Effect of Billets Pile Detection Methods on the Performance of Sugarcane Billet Feeder System

منبع واریانس Source	درجه آزادی DF	مجموع مربعات Adj SS	میانگین مربعات Adj MS	آماره F F-Value
تیمار Treatment	3	18.4215	6.1405	3.87**
خطا Error	104	165.2083	1.5885	
کل Total	107	183.6299		

** means a significant effect within a 99% confidence interval



شکل ۸– مقایسه میانگین مصرف قلمه ($tone\ ha^{-1}$) با کنترل دستی، حسگر وزن، حسگر فراصوت و مبدل فشار روغن

Fig.8. Comparison of Billets usage ($tone\ ha^{-1}$) for manual, weight, ultrasonic, and oil pressure sensor control

با توجه به نتایج آزمایش دوم، آزمایش سوم برنامه‌ریزی و در دو مزرعه زیرمجموعه کشت و صنعت فارابی اجرا شد. طی این آزمایش در حدود ۵۰ هکتار از مزارع، دو روش کشت دستی و کشت ماشینی (با دو شیوه کنترل دستی و کنترل با حسگر وزن) مقایسه شدند. در هر دو روش کشت، قلمه‌ها توسط ماشین برداشت نیشکر با طول تقریبی ۲۲ تا ۲۵ سانتی‌متر تهیه شده بود. در جدول ۲ به‌طور نمونه نتایج تجزیه واریانس یک‌طرفه برای مصرف وزنی قلمه آورده شده است. هر سه روش کشت در سطح احتمال ۱ درصد تفاوت معنی‌داری نشان دادند. برای سه آزمایش دیگر هم تجزیه واریانس انجام شد. ولی برای اختصار، نتایج تنها به‌صورت نمودارهای مقایسه میانگین ارائه شد.

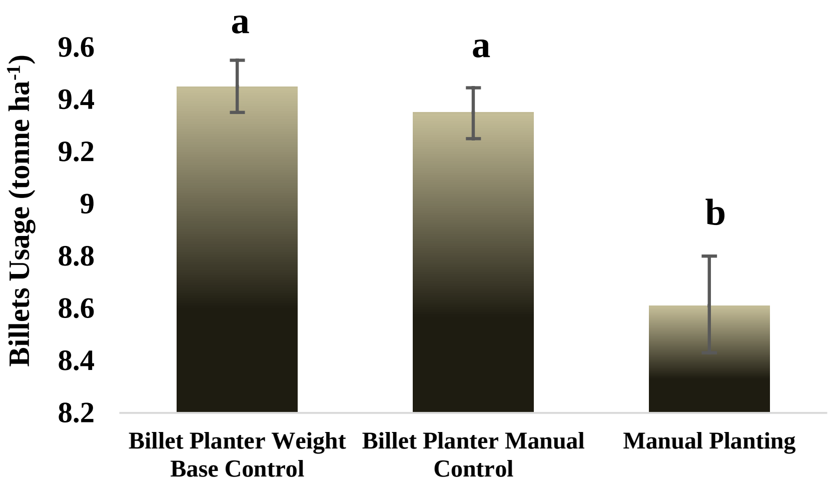
مطابق نتایج مقایسه میانگین نمودار شکل ۹ در کشت با کارنده قلمه‌کار خودکار، بین روش‌های کنترل با حسگر وزنی و روش کنترل دستی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد ولی در کشت دستی، مصرف وزنی قلمه به‌طور معنی‌داری کمتر و حدود ۸۹ درصد کشت ماشینی بود. با این حال به دلیل تنظیمات انجام‌شده روی کارنده از جمله تنظیم شیب بالابر زنجیر موزع، کاهش سرعت زنجیر موزع به نسبت سرعت ثابت پیشروی کارنده در مزرعه و استفاده از سامانه کنترل خودکار مصرف قلمه در کشت ماشینی نسبت به ارزیابی قبلی که توسط مدیریت مطالعات کاربردی کشت و صنعت فارابی در سال ۱۳۹۷ انجام شده بود کمتر بود.

جدول ۲– تجزیه واریانس مصرف وزنی قلمه ($kg\ ha^{-1}$) برای کشت دستی و ماشین قلمه کار (در دو حالت کنترل دستی خودکار مبتنی بر وزن)

Table 2- Analysis of Variance (ANOVA) for billets usage ($kg\ ha^{-1}$) for manual planting and planter (manual and weight-based automatic control)

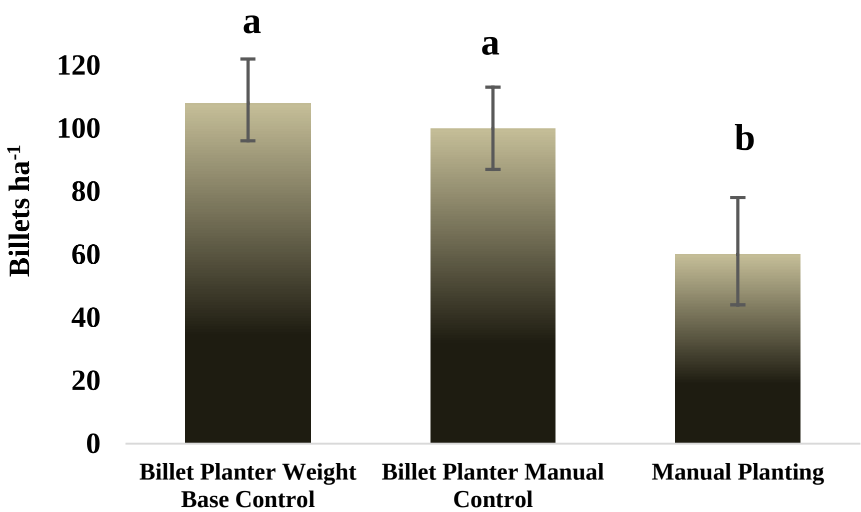
منبع واریانس **Source**	درجه آزادی **DF**	مجموع مربعات تصحیح‌شده **Adj SS**	میانگین مربعات تصحیح‌شده **Adj MS**	آماره F **F-Value**
تیمار **Treatment**	2	4949339	2474669	603.76**
خطا **Error**	36	147556	4099	
کل **Total**	38	5096894		

** means a significant effect within a 99% confidence interval



شکل ۹– مقایسه مصرف قلمه (**tone ha⁻¹**) برای کشت دستی و ماشین قلمه کار با دو نوع کنترل

Fig.9. Comparison of Billets usage ($tone\ ha^{-1}$) for manual planting and Billets Planter (with two types of control)



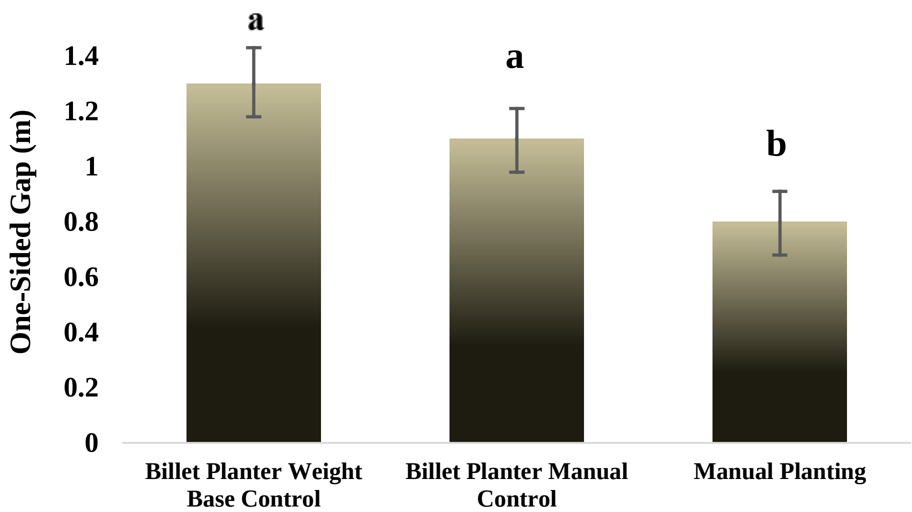
شکل ۱۰– مقایسه تعداد قلمه مصرفی برای دو نوع کشت دستی و قلمه‌کار با دو نوع کنترل

Fig.10. Comparison of billets per hectare for manual planting and Billets Planter (with two types of control)

طبق نمودار شکل ۱۰، نتـایج مقایسـه میـانگین تعـداد قلمـه‌های مصرفی در هر ۱۰ متر طول کاشت برای روش‌های کنترل بـا حسـگر وزنی و کنترل دستی در کارنده‌ی قلمه‌کار خودکار تفـاوت معنـی‌داری نشان نداد. به‌طور مشابه، تعداد قلمـه‌های مصـرفی در کاشـت دسـتی به‌طرز معنی‌داری کمتر و حدود ۴۳ درصد کاشت ماشینی بود.

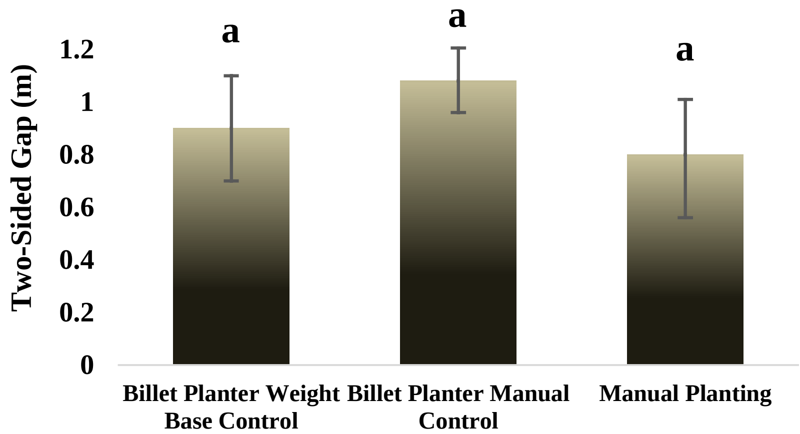
مطابق نمودار شکل ۱۱ فاصله نکاشت طولی در کشت دستی ۰/۸ متر به‌ازای هر ۱۰ متر طول کاشت برآورد شد. در حالی‌که برای کشت با ماشین کارنده این مقدار به حدود ۱/۲ متر افـزایش یافـت. در بـین روش‌های کنترل دستی و کنترل خودکـار وزنـی اخـتلاف معنـی‌داری مشاهده نشد.

نتایج تجزیه واریانس نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار بـین تیمارها برای فاصله نکاشت جانبی بود. مطابق نمودار شکل ۱۲ فاصله نکاشت جانبی در کشت دسـتی ۰/۸ متـر بـه‌ازای هـر ۱۰ متـر طـول کاشت برآورد شد. برای کشت با ماشین کارنده به‌ترتیب برای کنتـرل خودکار وزنی و کنترل دستی این مقدار ۱/۱ و ۰/۹ متر به‌دسـت آمـد. در بین روش‌های کنترل دستی و کنترل خودکـار وزنـی نیـز اخـتلاف معنی‌داری مشاهده نشد. این نتایج با نتایج تحقیقات قبلی کـه توسـط مـدیریت مطالعـات کـاربردی کشـت و صـنعت فـارابی انجـام شـده هم‌خوانی داشت (Anonymous, 2018).



شکل ۱۱– مقایسه فاصله نکاشت طولی برای دو نوع کشت دستی و قلمه‌کار با دو نوع کنترل

Fig.11. Comparison of One-Sided Gap for manual planting and Billets Planter (with two types of control)



شکل ۱۲– مقایسه فاصله نکاشت جانبی برای دو نوع کشت دستی و قلمه‌کار با دو نوع کنترل

Fig.12. Comparison of Two-Sided Gap for manual planting and Billets Planter (with two types of control)

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، سامانه کنترل خودکار تغذیه موزع قلمه‌کار نیشکر بر مبنای حسگر وزنی تعبیه‌شده در کف مخزن موزع طراحی و ساخته شد. نتایج نشان‌دهنده عملکرد صحیح سامانه از نظر مکانیکی و الکترونیکی بود. با نصب این سامانه مخزن ثانویه دستگاه همواره در سطح مشخصی از قلمه‌های نیشکر پر بوده که نشان‌دهنده عملکرد صحیح این سامانه بود. عملکرد این سامانه با کنترل دستی برابری می‌کرد که در نتیجه امکان حذف اپراتور را فراهم می‌آورد. حذف اپراتور منجر به صرفه‌جویی در هزینه‌های کارگری و تمام‌شده دستگاه به دلیل حذف اتاقک و سامانه تهویه مطبوع مورد نیاز برای استقرار اپراتور می‌شود. علاوه بر این، با حذف خطاهای ناشی از سهل‌انگاری و خستگی نیروی انسانی در کشت‌های طولانی، راندمان کاشت افزایش می‌یابد. از میان دو حسگر دیگر مورد استفاده، حسگر فشار روغن هیدرولیک محرک موزع نیز عملکرد مناسبی داشت، اما برای استفاده طولانی‌مدت، لازم است تا تغییرات فشار ناشی از تغییر دمای روغن با کمک یک حسگر دما به‌صورت برخط جبران شود. با وجود این‌که طبق نتایج، کاشت دستی از نظر مصرف قلمه و پارامترهای کیفی کاشت دارای مزیت است، سرعت بالای کاشت کارنده خودکار، به‌خصوص در شرایط محدودیت زمانی برای مدیریت مزارع، از اهمیت بالایی برخوردار است. علاوه بر این، می‌توان با مجهز نمودن ناوگان دستگاه‌های قلمه‌کار به حسگرهای پایش، هوشمند نمودن و پایش برخط مرکزی، بر مزیت نسبی استفاده از کارنده‌ها افزود.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از معاونت محترم پژوهش و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز بابت حمایت مالی از این پژوهش در قالب اعتبار ویژه پژوهشی به شماره پیگیری SCU.AA98.505 قدردانی می‌نمایند. همچنین از مدیر عامل محترم شرکت کشت و صنعت فارابی و پرسنل آن مجموعه و همچنین پرسنل فنی شرکت پویا سازان صنعت سبز آوان که در مراحل آماده‌سازی و ارزیابی‌های سامانه همکاری داشتند تشکر می‌نمایند.

مشارکت نویسندگان

بنیامین عباسیان: ساخت سامانه و انجام ارزیابی‌های میدانی و جمع‌آوری داده‌ها

محمد اسماعیل خراسانی فردوانی: نظارت و راهنمایی، مفهوم‌سازی، تحلیل آماری، استخراج و تهیه متن اولیه، ویرایش متن

حسن ذکی دیزجی: مشاوره فنی و ویرایش متن

References

1. Abbasiyan, B., Khorasani Ferdavani, M. E., & Zaki Dizaji, H. (2019). *Design and construction process of a sugarcane Billet planter suitable for sugarcane industries in Khuzestan province*. 12th National Conference on Biosystems Engineering and Mechanization. Ahvaz, Iran. (pp. 45-52). (in Persian).
2. Akbarnia, A. (2017). Design and fabrication of an experimental model of a seeding unit with widthwise sugarcane scions seeding for use in sugarcane planter. *Journal of Agricultural Machinery*, *7*(1), 312-321. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jam.v7i1.45290
3. Almasi, M., Bakhoda, H., & Sahebi, Y. (2006). *Design and construction of a sugarcane distributor and single-bud billet Planter*. 04th National Conference on Agricultural Machinery Engineering and Mechanization, Tabriz, Iran (pp. 21-27) (in Persian with English abstract).
4. Anonymous. (2018). Final report on cultivation with the new planter in Hakim Farabi Sugarcane Agro-Industries (quality and economic review). Applied research, Sugarcane & By Products Development Company. (in Persian).
5. Bozorgi, A. (2014). *Design, Construction, and evaluation of a Billet feeder system for sugarcane billet planter*. Master's thesis, Isfahan University of Technology. Department of Biosystems Engineering. (in Persian with English abstract).
6. Bronson, K., French, A., Conley, M., & Barnes, E. (2020). Use of an ultrasonic sensor for plant height estimation in irrigated cotton. *Agronomy Journal*, *113*. https://doi.org/10.1002/agj2.20552
7. Elwakeel, A. E., Mazrou, Y. S. A., Eissa, A. S., Okasha, A. M., Elmetwalli, A. H., Makhlouf, A. H., ..., & Elsayed, S. (2023). Design and Validation of a Variable-Rate Control Metering Mechanism and Smart Monitoring System for a High-Precision Sugarcane Transplanter. *Agriculture*, *13*(12), 2218. https://doi.org/10.3390/agriculture13122218
8. Han, J., Wen, S., Liu, Q. T., & Wu, J. Y. (2019). Design and test of pre-cutting type sugarcane planter. *Journal of South China Agricultural University*, *40*(4), 109-118.
9. Khani, M., Razavi, J., & Hemat, A. (2006). *Design, Construction and evaluation of distributor for sugarcane Billet planter with overlapped pattern*. Master's thesis, Isfahan University of Technology. (in Persian with English abstract).
10. Khorasani Ferdavani, M. E., Alimaradni, R., & Omid, M. (2009). *Design, Construction and Evaluation of Sugarcane Yield Monitoring System*. Doctoral dissertation, University of Tehran. Department of Agricultural Machinery Engineering. (in Persian with English abstract).
11. Mansouri, N., Zaki Dizaji, H., Sheikh Davoodi, M. J., & Asakare, A. (2019). Review and comparison of different

methods of sugarcane stem planting under Khuzestan conditions. *Agricultural Systems and Mechanization Research*, *20*(72), 73-90. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/erams.2018.114606.1207

12. Mohammadi, A., Almasi, M., & Sheikh Davoodi, M. J. (2002). *Construction and testing of a sugarcane single-bander distributor*. Master's thesis, Shahid Chamran University of Ahvaz. (in Persian with English abstract).
13. Mostofi Sarkari, M., & Minaei, S. (2010). Performance evaluation of a continuous mass flow meter for harvesting machines of food products for use in precision agriculture. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *2*(2), 141-150.
14. Namjoo, M., Razavı, J., & Khani, A. (2015). Fabrication and Evaluation of a Metering Device for a Sugarcane Billet Planter. *Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences*, *25*(1), 1-12. https://doi.org/10.29133/yyutbd.236386
15. Razavi, S. J., Kardani, M., & Namjoo, M. (2013). *Design, Development and evaluation of an Autonomous system for a sugarcane billet planter Hopper Lifting*. 8th National Congress of Agricultural Machinery Engineering and Mechanization, Mashhad, Iran. (in Persian with English abstract).
16. Saengprachatanarug, K., Wongpichet, S., Ueno, M., & Taira, E. (2016). Comparative Discharge and Precision Index of a Sugar Cane Billet Planter. *Applied Engineering in Agriculture*, *32*, 561-567. https://doi.org/10.13031/aea.32.11073
17. Soleimani Varposhti, I., Zaki Dizaji, H., & Sheikh Davoodi, M. J. (2019). Evaluation of precision metering device for Sugarcane billet planting machines. *Journal of Researches in Mechanics of Agricultural Machinery*, *8*(2), 1-10. (in Persian with English abstract). https://jrmam.sku.ac.ir/article_10115.html?lang=en
18. Taghinezhad, J., Alimardani, R., & Jafari, A. (2013). Optimization cane traction output from hopper in full-automatic sugarcane planters by using response surface modeling and analytical hierarchy process. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, *15*, 138-147.
19. Taghinezhad, J., Alimardani, R., & Jafary, A. (2014). Development and evaluation of three metering device models for sugarcane setts. Tarım Bilimleri Dergisi. https://doi.org/10.1501/Tarimbil_0000001276
20. Wang, Meimei & Liu, Qingting & Ou, Yinggang & Zou, Xiaoping. (2021). Experimental Study of the Seed-Filling Uniformity of Sugarcane Single-Bud Billet Planter. *Sugar Tech*. 23. https://doi.org/10.1007/s12355-020-00947-3
21. Wang, M., Liu, Q., Ou, Y., & Zou, X. (2022). Numerical simulation and verification of seed-filling performance of single-bud billet sugarcane seed-metering device based on EDEM. *Agriculture*, *12*(7), 983. https://doi.org/10.3390/agriculture12070983
22. Wang, M., Liu, Q., Yinggang, O., & Zou, X. (2022). Experimental Study of the Planting Uniformity of Sugarcane. *Agriculture*, *12*. https://doi.org/10.3390/agriculture12070908